

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-045909

(43)Date of publication of application : 14.02.1995

(51)Int.Cl.

H01S 3/18
H01L 21/205

(21)Application number : 05-187852

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 29.07.1993

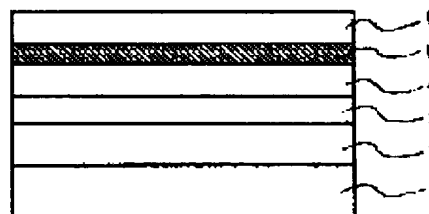
(72)Inventor : FUKAYA KAZUO
ISHIKAWA MAKOTO

(54) VAPOR GROWTH METHOD FOR DEFORMATION QUANTUM WELL SEMICONDUCTOR LASOR

(57)Abstract:

PURPOSE: To enable execution of a stable operation at a high yield by a method wherein a growth temperature of an InGaAs deformation quantum well active layer to be formed by a crystal growth on a GaAs substrate is made in a specified temperature range and the growth temperature of a crystal growth layer after the formation of the active layer is made equal to the growth temperature of the active layer.

CONSTITUTION: A GaAs buffer layer 2 is formed by a vapor phase epitaxial growth on an Si-doped GaAs substrate 1 and then an Al_{0.4}Ga_{0.6}As layer 3, a GaAs barrier layer 4, an In_{0.24}Ga_{0.76}As deformation quantum well layer 5 and a GaAs barrier layer 6 are made to grow sequentially. On the occasion when the InGaAs deformation quantum well active layer 5 is formed by a crystal growth, a growth temperature of this layer 5 is made in a range of 580 to 640° C in order to obtain stability of an intake rate of In in a solid phase and in-plane uniformity of an emission characteristic. Besides, the growth temperature of a layer formed by the crystal growth after the active layer is made equal to the growth temperature of the active layer so as to obtain the deformation quantum well layer 5 having few defects.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-45909

(43)公開日 平成7年(1995)2月14日

(51)Int.Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 21/205

審査請求 有 請求項の数 2 O L (全 10 頁)

(21)出願番号 特願平5-187852

(22)出願日 平成5年(1993)7月29日

(71)出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72)発明者 深谷 一夫

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(72)発明者 石川 信

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

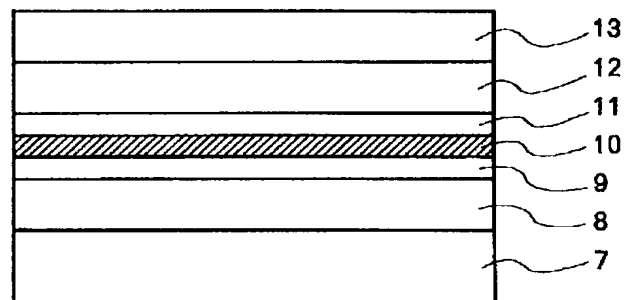
(74)代理人 弁理士 京本 直樹 (外2名)

(54)【発明の名称】 歪量子井戸半導体レーザの気相成長方法

(57)【要約】

【目的】 高歩留まりで安定動作する信頼性の高いnGaAs歪量子井戸半導体レーザを製造する。

【構成】 常圧MOVPE装置を用いてSiドーブGaAs基板7上にSiドーブAl_{0.4}Ga_{0.6}Asクラッド層8を成長温度760℃で気相エピタキシャル成長させる。次にAl_{0.2}Ga_{0.8}As光ガイド層9の成長中に成長温度を降下させ、成長温度610℃・アルシン分圧0.3 Torrのもとで2重歪量子井戸活性層構造10 (GaAsバリア層/In_{0.24}Ga_{0.76}As歪量子井戸/GaAsバリア層/In_{0.24}Ga_{0.76}As歪量子井戸/GaAsバリア層)を成長する。次に、成長温度を610℃に保ったままAl_{0.2}Ga_{0.8}As光ガイド層11、MgドーブAl_{0.4}Ga_{0.6}Asクラッド層12、MgドーブGaAsキャップ層13を順次成長する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 有機金属気相エピタキシャル成長法(MOVPE)を用いてGaAs基板上にInGaAs歪量子井戸活性層を含むダブルヘテロ構造を結晶成長させる工程において、InGaAs歪量子井戸活性層の成長温度が580～640℃の範囲であり、活性層以降の結晶成長層の成長温度が活性層の成長温度と等しいことを特徴とする歪量子井戸半導体レーザの気相成長方法。

【請求項2】 有機金属気相エピタキシャル成長法(MOVPE)を用いてGaAs基板上にInGaAs歪量子井戸活性層を含むダブルヘテロ構造を結晶成長させる工程において、InGaAs歪量子井戸活性層の成長温度が580～640℃の範囲であり、かつ反応管圧を大気圧に保持しながら成長を行う常圧MOVPE法であり、少なくともInGaAs歪量子井戸活性層を $1.6 \times 10^{-7} \sim 0.3$ Torrの範囲のアルシン(AsH₃)分圧下で成長させることを特徴とする歪量子井戸半導体レーザの気相成長方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は歪量子井戸半導体レーザの気相成長方法に関する。

【0002】

【従来の技術】MOVPE(有機金属気相成長法)によって、図13に示すようなn-GaAs基板18、n-AlGaAsクラッド層19、AlGaAs/GaAs光ガイド層20、InGaAs歪量子井戸活性層21、GaAs/AlGaAs光ガイド層22、p-AlGaAsクラッド層23、p-GaAsキャップ層24からなる半導体レーザ用ダブルヘテロ構造を成長させる場合、InGaAs歪層は成長温度が高温なほど成長中のInの再蒸発が顕著となるため、少なくともInGaAs歪量子井戸層の成長温度は700℃以下とするのが一般的である。一方、n、p-AlGaAsクラッド層19、23の成長の際には、カーボンの混入やドーパントの分解効率の低下を抑えるために、通常成長温度を700℃以上にするのが望ましい。例えば、1991年4月、アイ・イー・イー・イー・フォトニクス・テクノロジー・レターズ、第3巻、第4号(IEEE PHOTONICSTECHNOLOGY LETTERS)、308～310頁の報告によれば、InGaAs歪量子井戸活性層の成長温度は610℃であり、クラッド層の成長温度が750℃である。また、AlGaAsクラッド層の成長の際には、III族原料ガス流量に対するV族原料ガス流量比すなわちV/III比が低いと、カーボンが取り込まれやすくなる。それを防ぐために、通常は所定の高いV/III比下で一貫して成長を行い、その結果、反応管圧力を大気圧に保持しながら成長を行う常圧MOVPEにおいてはInGaAs歪量子井戸層の成長中のアルシン分圧が1 Torr以上に保たれるのが一般

的である。例えば、ヨーク(P. K. York)等のアプライド・フィジックス・レターズ(Applied Physics Letters)誌55巻(1989年)2476～2478頁の報告によれば、InGaAs歪量子井戸層の成長中のアルシン分圧は文献中の記載から計算すると約1.4 Torrに保たれていた。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来の成長条件で得られた歪量子井戸半導体レーザの中には、高歩留まりで長時間の信頼性を有するという報告はなく、光通信には応用ができなかった。

【0004】

【課題を解決するための手段】本発明の歪量子井戸半導体レーザの製造方法の第1の構成は、上記の問題点を解決するためになされたもので、有機金属気相エピタキシャル成長法(MOVPE)を用いてGaAs基板上にInGaAs歪量子井戸活性層を含むダブルヘテロ構造を結晶成長させる方法において、InGaAs歪量子井戸活性層の成長温度が580～640℃の範囲であり、活性層以降の結晶成長層の成長温度が活性層の成長温度と等しいことを特徴とするものである。

【0005】本発明の歪量子井戸レーザの製造方法の第2の構成は、有機金属気相エピタキシャル成長法(MOVPE)を用いてGaAs基板上にInGaAs歪量子井戸活性層を含むダブルヘテロ構造を結晶成長させる方法において、InGaAs歪量子井戸活性層の成長温度が580～640℃の範囲であり、かつ反応管圧を大気圧に保持しながら成長を行う常圧MOVPEであり、少なくともInGaAs歪量子井戸活性層を $1.6 \times 10^{-7} \sim 0.3$ Torrの範囲のアルシン(AsH₃)分圧下で成長させることを特徴とするものである。

【0006】

【実施例】本発明の請求項1と請求項2の方法に共通するInGaAs歪量子井戸層の成長温度範囲および請求項1の発明におけるInGaAs歪量子井戸層以降の成長温度について詳細に説明するための結晶成長実験の実施例を図1、図2、図3および図4を用いて示す。まず、図1を用いてInGaAs歪量子井戸層の成長温度の上限を説明する。図1は、Gaの原料ガスがテトラメチルガリウム(TMGe)、Inの原料がテトラメチルインジウム(TMI)であるとき、TMGeとTMIの分圧の和に対するTMIの分圧の比すなわち気相中のIn組成を0.35に固定しながら、InGaAs歪量子井戸層を成長したときの固相中のIn組成および気相中から固相へのInの取り込み率の温度依存性を示したものである。図1によるとInの固相への取り込み率は640℃より高温の領域では温度とともに低下する。ウェハ面内のIn組成の均質性を良くするためには、成長温度を640℃以下とすることが望ましい。

【0007】次に、図2、図3、図4を用いてInGa

As歪量子井戸層の成長温度の下限を説明する。図2はウェハの断面図、図3は成長工程の成長温度とアルシン分圧を示す図である。常圧MOVPE装置を用いて、SiドープGaAs基板1上に膜厚0.5 μ mのGaAsバッファ層2を図3(a)に示す成長温度プロファイルのA即ち760°Cで、図3(b)に示すアルシン蒸気圧のCすなわち3.2 Torrで気相エピタキシャル成長させる。次に成長表面層からのAsの脱離を防ぐためV族元素の原料アルシンを供給したまま、III族元素即ちGaの供給を中断し、成長温度プロファイルのB即ち610°Cに低下させて、アルシン蒸気圧プロファイルのDすなわち1.4 Torrで膜厚0.05 μ mのAl_{0.4}Ga_{0.6}As層3を、アルシン分圧プロファイルのEすなわち1.2 Torrで膜厚0.5 μ mのGaAsバリア層4、膜厚200ÅのIn_{0.24}Ga_{0.76}As歪量子井戸層5、膜厚0.3 μ mのGaAsバリア層6を順次成長させ、図2に示す構造の歪量子井戸半導体ウェハを得る。

【0008】また、上記実験において、成長温度プロファイルのBの温度が580°Cのものと700°Cのものも作製した。なお、上記実験におけるInGaAs歪量子井戸層の発光スペクトルのピーク波長は1.07 μ mである。

【0009】図4は上記歪量子井戸半導体ウェハの微小領域からの波長1.07 μ mのフォトルミネッセンス強度を測定し、フォトルミネッセンス強度の標準偏差を平均強度で規格化した値、および200 μ m角の領域内に含まれる暗線欠陥の平均本数の成長温度依存性を示したものである。前者は歪量子井戸層の発光特性の面内の均質性の目安となり値が小さいほど良く、後者は歪量子井戸層へのミスフィット転位の導入され易さの目安となり少ないほど良い。図4によるとフォトルミネッセンス強度の均質性は610°Cより低温側で悪化する傾向があることから、発光特性の均質性が良好な歪量子井戸ウェハを得るためには少なくとも成長温度を580°C以上にするのが望ましい。以上の実験結果からInの固相への取り込み率の安定性の要請および発光特性の面内均質性の要請によりInGaAs歪量子井戸層の成長温度は580°C以上640°C以下の範囲であることが望ましいことがわかる。次に図4を用いて請求項1におけるInGaAs歪量子井戸層以降の成長温度の範囲について説明する。図4によると暗線欠陥の平均本数は成長温度とともに増加している。InGaAs歪量子井戸層における欠陥の導入・運動・増殖等は、InGaAs歪量子井戸層自体の成長中のみならず、それ以降の層の成長中にも起こる現象と考えられるので、欠陥の少ない歪量子井戸層を得るためには、InGaAs歪量子井戸の成長温度をできるだけ低くするのが有利なことはもちろん、それ以降の温度を上昇させずに成長するのが有利であることを、上記の結果から推定することができる。

【0010】次に本発明の請求項2の発明の方法におけるInGaAs歪量子井戸層の成長中のアルシン分圧の範囲を詳細に説明するための結晶成長実験の実施例を図2、図5、図6を参照して示す。まず、InGaAs歪量子井戸層の成長アルシン分圧の上限を説明する。試作したウェハ構造は成長温度範囲を説明する結晶成長実験の前述の実施例と同じで、図2に示す。また成長温度プロファイルも図3(a)と同じである。

【0011】図5は成長時のアルシン分圧プロファイルを示す図、図6は200 μ m角の領域内に含まれる暗線欠陥の平均本数とフォトルミネッセンス強度の標準偏差を平均強度で規格化した値の、InGaAs歪量子井戸層の成長中のアルシン分圧依存性である。本実験では、アルシン分圧を図5のプロファイルで制御して成長した。すなわち、図3(a)の成長温度プロファイルのBすなわち610°Cの領域で、アルシン分圧プロファイルのFすなわち0.35 Torrで膜厚0.05 μ mのAl_{0.4}Ga_{0.6}As層3を、アルシン分圧プロファイルのGすなわち0.3 Torrで膜厚0.5 μ mのGaAsバリア層4、膜厚200ÅのIn_{0.24}Ga_{0.76}As歪量子井戸層5、膜厚0.3 μ mのGaAsバリア層6を順次成長させた。また、上記実験においてアルシン分圧のプロファイルのFを5.6 Torr、アルシン分圧のプロファイルGを4.8 Torrとしたものも比較例として作製した。

【0012】図6に示すように、InGaAs歪量子井戸層の成長中のアルシン分圧を高くすると暗線数は減少するものフォトルミネッセンス強度の均質性は低下する。一方InGaAs歪量子井戸層の成長中のアルシン分圧を低くすると暗線数の減少に加え、フォトルミネッセンス強度の均質性も改善される傾向が認められる。図6の結果から、結晶欠陥が少なくしかも均質性の優れた歪量子井戸半導体ウェハを得るためには、InGaAs歪量子井戸層の成長中のアルシン分圧を0.3 Torr以下とすることが望ましいことがわかる。次にInGaAs歪量子井戸層の成長中のアルシン分圧の下限を説明する。1967年、ジャーナル・オブ・フィジックス・アンド・ケミストリー・オブ・ソリッド(Journal of Physics and Chemistry of Solids)第28巻、2257頁~2267頁の報告によれば、GaAs表面のAsはAs₄となつて解離しやすいため、平衡論的には、気相でのAs₄分圧が例えば640°Cにおいては760 Torr以下であればGa過剰の表面が形成される。このGa過剰面からのAs₂の解離圧は 8×10^{-8} Torrであり、少なくとも 1.6×10^{-7} Torr以上のアルシン分圧下であれば、Ga過剰面からのAs解離は起きないと考えられる。GaAsの気相成長においても、Asの原子空孔の混入を防ぐためには、少なくとも 1.6×10^{-7} Torr以上のアルシン分圧下で成長を行うことが

望ましい。InGaAs表面における解離圧に関する報告はないがInとAsの結合はGaとAsの結合よりも不安定であるので少なくとも上記アルシン分圧下で成長を行うことが望ましい。

【0013】次に本発明の請求項1及び請求項2の方法の組み合わせによる歪量子井戸半導体レーザの1実施例を図7および図8を用いて説明する。図7は歪量子井戸半導体レーザの断面図、図8(a)は成長工程の成長温度プロファイル、図8(b)はアルシン分圧プロファイルである。

【0014】常圧MOVPE装置を用いて、SiドープGaAs基板7上に膜厚2μmのSiドープAl_{0.4}Ga_{0.6}Asクラッド層8を図8(a)に示す成長温度プロファイルのA即ち760℃で、図8(b)に示すアルシン分圧プロファイルのA即ち5.3 Torrで成長し、次に膜厚40nmのAl_{0.4}Ga_{0.6}As光ガイド層9をアルシン分圧プロファイルのB即ち4 Torrで成長する間に成長温度プロファイルのBのように成長温度を610℃まで低下させる。

【0015】次に2重歪量子井戸活性層構造10(20nmGaAsバリア層/6nmIn_{0.24}Ga_{0.76}As歪層/5nmGaAsバリア層/6nmIn_{0.24}Ga_{0.76}As歪層/20nmGaAsバリア層からなる)を成長温度プロファイルのC即ち610℃で、アルシン分圧プロファイルのC即ち0.3 Torrで成長する。次に成長温度を610℃に保ったまま、膜厚40nmのAl_{0.2}Ga_{0.8}As光ガイド層11、膜厚1.5μmのMgドープAl_{0.4}Ga_{0.6}Asクラッド層12、膜厚1.0μmのMgドープGaAsキャップ層13をそれぞれアルシン分圧プロファイルのD、E、F即ち4 Torr、5.3 Torr、3.2 Torrのもとで順次気相エピタキシャル成長させることにより、図7に示す層構造をもつ本発明の請求項1と2の方法の組み合わせによる歪量子井戸半導体レーザウエハを作ることができる。

【0016】次に本発明の請求項2の方法による歪量子井戸レーザの1実施例を、前述の実施例と図9を用いて説明する。レーザの断面構造は図7に示した前述の実施例と同じである。図9は成長温度プロファイルである。前述の実施例において、図9に示すように膜厚40nmのAl_{0.2}Ga_{0.8}As光ガイド層11の成長中に成長温度プロファイルのDに従い温度を700℃まで上昇させる。つぎに成長温度プロファイルのE即ち700℃で膜厚1.5μmのMgドープAl_{0.4}Ga_{0.6}Asクラッド層12、膜厚1.0μmのMgドープGaAsキャップ層13を順次気相エピタキシャル成長させるという変更を加えることによって、本発明の請求項2の歪量子井戸半導体レーザウエハを作ることができる。

【0017】次に本発明の効果を説明するため、従来例として試作した歪量子井戸レーザの実施例を、上記本発

明の第2の方法(請求項2)の実施例の説明と、図10を用いて説明する。上記本発明の第2の方法の実施例において、2重歪量子井戸活性層構造10(20nmGaAsバリア層/6nmIn_{0.24}Ga_{0.76}As歪層/5nmGaAsバリア層/6nmIn_{0.24}Ga_{0.76}As歪層/20nmGaAsバリア層からなる)を、図10に示すアルシン分圧プロファイルC'即ち1.2 Torrで成長するという変更を加えることにより、従来例の歪量子井戸半導体レーザウエハを作ることができる。

【0018】次に、本発明の実施例の効果を図11、図12を用いて説明する。図11はGaAs埋め込み利得導波型レーザの断面図、図12はGaAs埋め込み利得導波型レーザの通電試験の結果得られた上記本発明の実施例と比較のための従来例の安定動作歩留まりを示す。本発明の請求項1と請求項2の発明の組み合わせの実施例、請求項2の発明の実施例、および従来例により得られたレーザウエハを共振器長300μm、共振器幅7μmの図11に示す断面構造をもつGaAs埋め込み利得導波型レーザに加工し、発振波長0.98μmに対しλ/2の光路長の厚さの絶縁体薄膜コーティングを共振器両端面に施し、ヒートシンクにマウントすることにより半導体レーザ装置を得る。

【0019】次に、このレーザ装置をレーザウエハごとに無作為10個選び、90℃、片端面光出力10mWの通電試験を1000時間行った。図12に、通電開始後800~1000時間の駆動電流の変化率rが $2 \times 10^{-5} \text{ h}^{-1}$ 以下である歩留まりをレーザウエハごとに示す。図12によると、請求項1と請求項2の発明の組み合わせの実施例の歩留まりが90%、請求項2の発明の実施例の歩留まりが60%、従来例の歩留まりが40%であった。

【0020】活性層を成長した後に成長温度を上げずに、本発明の請求項1、即ち活性層以降の成長温度を活性層の成長温度と等しくした効果により、本発明の請求項1と2の組み合わせの実施例の歩留まりは、請求項2のみの実施例の歩留まりより優れている。また、請求項2の本発明の歪量子井戸活性層のアルシン分圧を $1.6 \times 10^{-7} \sim 0.3 \text{ Torr}$ の範囲内とした効果により、その歩留まりは、従来例の歩留まりより優れている。

【0021】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の第1の歪量子井戸半導体レーザの気相成長方法は、InGaAs歪量子井戸活性層の成長温度が580~640℃の範囲で、活性層以降の成長温度が活性層の成長温度と等しいことを特徴としているため、活性層以降の成長温度を活性層の成長温度よりも高くして成長する場合よりもInGaAs歪量子井戸活性層に導入される欠陥の密度が低く、高歩留まりで安定な動作が可能な歪量子井戸半導体

10

20

30

40

50

レーザを得ることができる。

【0022】また、本発明の第2の歪量子井戸半導体レーザの気相成長方法は、InGaAs歪量子井戸活性層の成長温度が580～640℃の範囲であり、反応管圧を大気圧に保持しながら成長を行う常圧MOVPE法であり、少なくともInGaAs歪量子井戸活性層を $1.6 \times 10^{-7} \sim 0.3$ Torrの範囲のアルシン(AsH₃)分圧下で成長させることを特徴としているため、InGaAs歪量子井戸活性層を1 Torr以上のアルシン分圧下で成長する場合よりもInGaAs歪量子井戸活性層に導入される欠陥の密度が低く、高歩留まりで安定な動作が可能な歪量子井戸半導体レーザを得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明におけるInGaAs歪量子井戸活性層の成長温度の上限を説明するために、固相中のIn組成および気相中から固相へのInの取り込み率の温度依存性を示した図である。

【図2】本発明によるInGaAs歪量子井戸半導体ウェハの断面構造を示した図である。

【図3】本発明を説明するための図で、成長温度のプロファイル(a)とアルシン分圧のプロファイル(b)を示す図。

【図4】本発明による歪量子井戸半導体ウェハのフォトルミネッセンス強度の標準偏差を平均強度で規格化した値と、200μm角の領域内に含まれる暗線欠陥の平均本数の成長温度依存性を示す図である。

【図5】本発明による歪量子井戸半導体ウェハの成長中のアルシン分圧プロファイルを示す図である。

【図6】本発明による歪量子井戸半導体ウェハのフォトルミネッセンス強度の標準偏差を平均強度で規格化した値と、200μm角の領域内に含まれる暗線欠陥の平均本数のアルシン分圧依存性を示した図である。

【図7】本発明による歪量子井戸半導体レーザウェハの断面構造図である。

【図8】本発明による歪量子井戸半導体レーザウェハの成長温度プロファイルを示す図(a)と、アルシン分圧プロファイルを示す図(b)である。

【図9】本発明の請求項2の実施例における歪量子井戸半導体レーザウェハの成長温度プロファイルを示した図である。

【図10】本発明と比較するための従来例における歪

量子井戸半導体レーザウェハの成長中のアルシン分圧プロファイルを示した図である。

【図11】本発明の各実施例の歪量子井戸半導体レーザウェハ及び比較のための従来のものの通電信頼性試験に用いたGaAs埋め込み利得導波型レーザの断面構造図である。

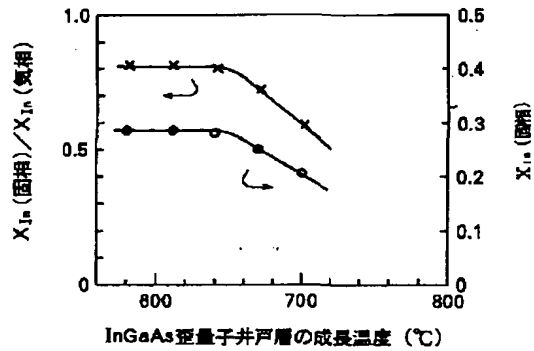
【図12】GaAs埋め込み利得導波型レーザの90℃、10mWの通電試験における通電開始後800～1000時間の駆動電流の変化率rが $2 \times 10^{-5} \text{ h}^{-1}$ 以下である歩留まりを本発明の各実施例及び比較の従来例のレーザウェハについて示したものである。

【図13】従来例を説明するための歪量子井戸半導体レーザウェハの構造断面図。

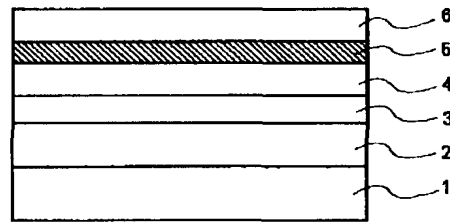
【符号の説明】

- 1 SiドープGaAs基板
- 2 GaAsバッファ層
- 3 AlGaAs層
- 4 GaAsバリア層
- 5 InGaAs歪量子井戸層
- 6 GaAsバリア層
- 7 SiドープGaAs基板
- 8 SiドープAl_{0.4}Ga_{0.6}クラッド層
- 9 Al_{0.2}Ga_{0.8}As光ガイド層
- 10 2重歪量子井戸活性層構造(20nmGaAsバリア層/6nmIn_{0.24}Ga_{0.76}As歪層/5nmGaAsバリア層/6nmIn_{0.24}Ga_{0.76}As歪層/20nmGaAsバリア層からなる)
- 11 Al_{0.2}Ga_{0.8}As光ガイド層
- 12 MgドープAl_{0.4}Ga_{0.6}Asクラッド層
- 13 MgドープGaAsキャップ層
- 14 SiドープGaAsブロック層
- 15 p側電極
- 16 n側電極
- 17 ヒートシンク
- 18 n-GaAs基板
- 19 n-AlGaAsクラッド層
- 20 AlGaAs/GaAs光ガイド層
- 21 InGaAs歪量子井戸活性層
- 22 GaAs/AlGaAs光ガイド層
- 23 p-AlGaAsクラッド層
- 24 p-GaAsキャップ層

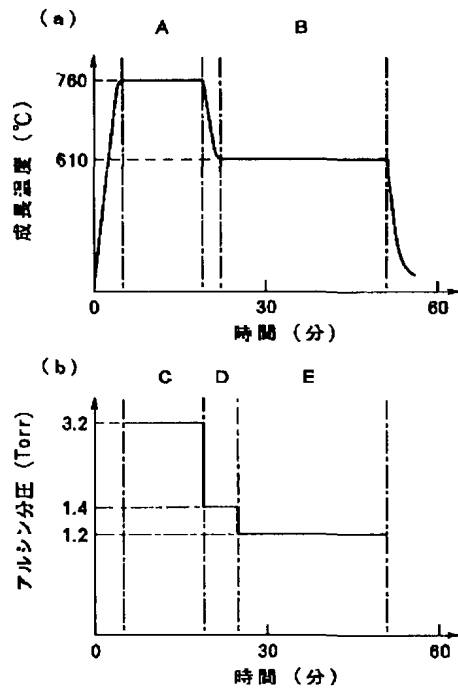
【図1】



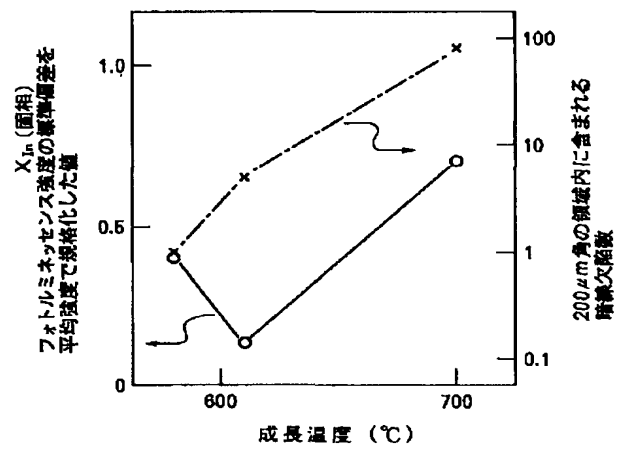
【図2】



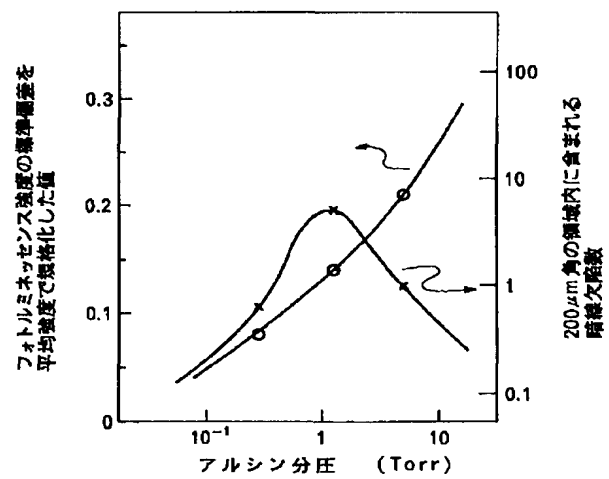
【図3】



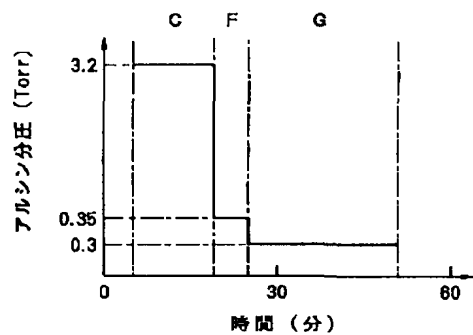
【図4】



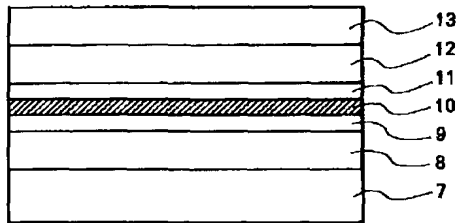
【図6】



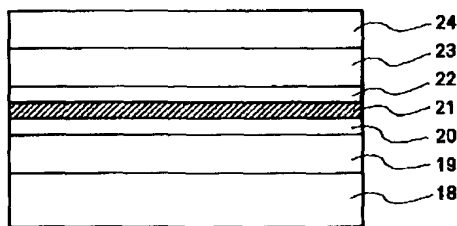
【図5】



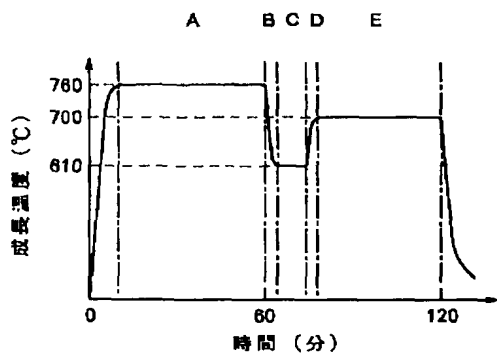
【図7】



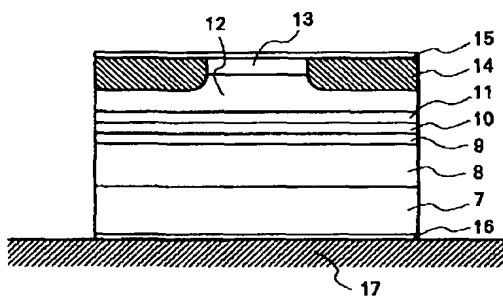
【図13】



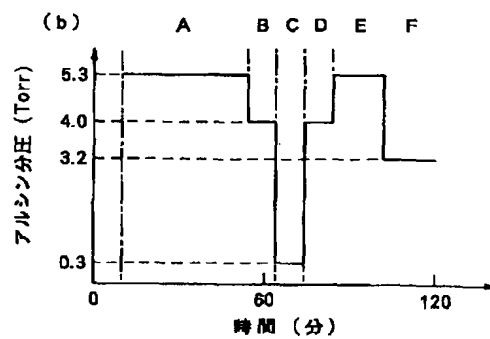
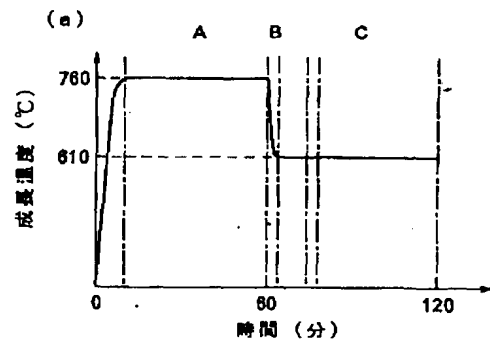
【図9】



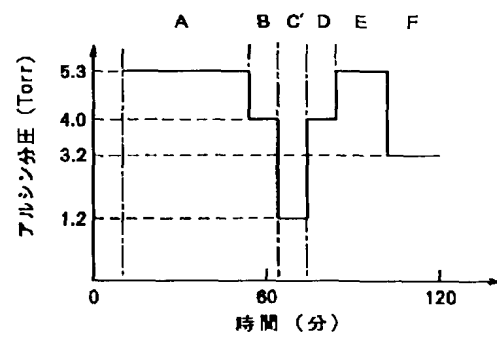
【図11】



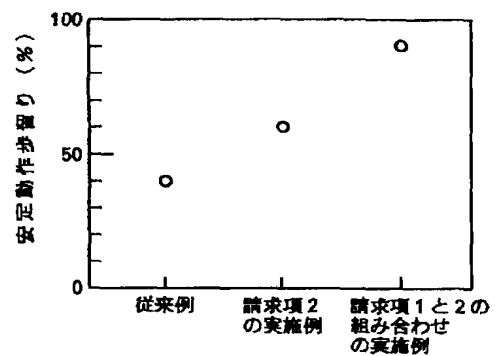
【図8】



【図10】



【図12】



【手続補正書】

【提出日】平成6年3月10日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0006

【補正方法】変更

【補正内容】

【0006】

【実施例】本発明におけるInGaAs歪量子井戸層の成長温度範囲およびInGaAs歪量子井戸層の成長温度範囲およびInGaAs歪量子井戸層以降の成長温度について詳細に説明するための結晶成長実験の第1の実施例を図1、図2、図3および図4を用いて示す。まず、図1を用いて本発明におけるInGaAs歪量子井戸層の成長温度の上限を説明する。図1は、Gaの原料ガスがテトラメチルガリウム（TMG）、Inの原料がテトラメチルインジウム（TMI）であるとき、TMGとTMIの分圧の和に対するTMIの分圧の比すなわち気相中のIn組成を0.35に固定しながら、InGaAs歪量子井戸層を成長したときの固相中のIn組成および気相中から固相へのInの取り込み率の温度依存性を示したものである。図1によるとInの固相への取り込み率は640℃より高温の領域では温度とともに低下する。ウェハ面内のIn組成の均質性を良くするためには、成長温度を640℃以下とすることが望ましい。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0007

【補正方法】変更

【補正内容】

【0007】次に、図2、図3、図4を用いて本発明におけるInGaAs歪量子井戸層の成長温度の下限を説明する。図2はウェハの断面図、図3は成長工程の成長温度とアルシン分圧を示す図である。常圧MOVPE装置を用いて、SiドープGaAs基板1上に膜厚0.5μmのGaAsバッファ層2を図3（a）に示す成長温度プロファイルのA即ち760℃で、図3（b）に示すアルシン分圧のCすなわち3.2Torrで気相エピタキシャル成長させる。次に成長表面層からのAsの脱離を防ぐためV族元素の原料アルシンを供給したまま、III族元素即ちGaの供給を中断し、成長温度プロファイルのB即ち610℃に低下させて、アルシン分圧プロファイルのDすなわち1.4Torrで膜厚0.05μmのAl_{0.4}Ga_{0.6}As層3を、アルシン分圧プロファイルのEすなわち1.2Torrで膜厚0.5μmのGaAsバリア層4、膜厚200ÅのIn_{0.24}Ga_{0.76}As歪量子井戸層5、膜厚0.3μmのGaAsバリア層6を順次成長させ、図2に示す構造の歪量子井戸半導体ウェハを得る。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0009

【補正方法】変更

【補正内容】

【0009】図4は上記歪量子井戸半導体ウェハの微小領域からの波長1.07μmのフォトルミネッセンス強度を測定し、フォトルミネッセンス強度の標準偏差を平均強度で規格化した値、および200μm角の領域内に含まれる暗線欠陥の平均本数の成長温度依存性を示したものである。前者は歪量子井戸層の発光特性の面内の均質性の目安となり値が小さいほど良く、後者は歪量子井戸層へのミスフィット転位の導入され易さの目安となり少ないほど良い。図4によるとフォトルミネッセンス強度の均質性は610℃より低温側で悪化する傾向があることから、発光特性の均質性が良好な歪量子井戸ウェハを得るためには少なくとも成長温度を580℃以上にするのが望ましい。以上の実験結果からInの固相への取り込み率安定性の要請および発光特性の面内均質性の要請によりInGaAs歪量子井戸層の成長温度は580℃以上640℃以下の範囲であることが望ましいことがわかる。次に図4を用いて本発明におけるInGaAs歪量子井戸層以降の成長温度の範囲について説明する。図4によると暗線欠陥の平均本数は成長温度とともに増加している。InGaAs歪量子井戸層における欠陥の導入・運動・増殖等は、InGaAs歪量子井戸層自体の成長中のみならず、それ以降の層の成長中にも起こる現象と考えられるので、欠陥の少ない歪量子井戸層を得るためには、InGaAs歪量子井戸の成長温度をできるだけ低くするのが有利なことはもちろん、それ以降の温度を上昇させずに成長するのが有利であることを、上記の結果から推定することができる。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0010

【補正方法】変更

【補正内容】

【0010】次に本発明におけるInGaAs歪量子井戸層の成長中のアルシン分圧の範囲を詳細に説明するための結晶成長実験の第2の実施例を図2、図5、図6を参照して示す。まず、本発明におけるInGaAs歪量子井戸層の説明アルシン分圧の上限を説明する。試作したウェハ構造は成長温度範囲を成長する結晶成長実験の前述の第1の実施例と同じで、図2に示す。また成長温度プロファイルも図3（a）と同じである。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0012

【補正方法】変更

【補正内容】

【0012】図6に示すように、InGaAs歪量子井戸層の成長中のアルシン分圧を高くすると暗線数は減少するものフォトルミネッセンス強度の均質性は低下する。一方InGaAs歪量子井戸層の成長中のアルシン分圧を低くすると暗線数の減少に加え、フォトルミネッセンス強度の均質性も改善される傾向が認められる。図6の結果から、結晶欠陥が少なくしかも均質性の優れた歪量子井戸半導体ウェハを得るためには、InGaAs歪量子井戸層の成長中のアルシン分圧を0.3 Torr以下とすることが望ましいことがわかる。次に本発明におけるInGaAs歪量子井戸層の成長中のアルシン分圧の下限を説明する。1967年、ジャーナル・オブ・フィジックス・アンド・ケミストリー・オブ・ソリド (Journal of Physics and Chemistry of Solids) 第28巻、2257頁から2267頁の報告によれば、GaAs表面のAsはAs₄ となって解離しやすいため、平衡論的には、気相でのAs₄ 分圧が例えば640°Cにおいては760 Torr以下であればGa過剰の表面が形成される。このGa過剰面からのAs₂ の解離圧は 8×10^{-8} Torrであり、少なくとも 1.6×10^{-7} Torr以上のアルシン分圧下であれば、Ga過剰面からのAs解離は起きないと考えられる。GaAsの気相成長においても、Asの原子空孔の混入を防ぐためには、少なくとも 1.6×10^{-7} Torr以上のアルシン分圧下で成長を行うことが望ましい。InGaAs表面における解離圧に関する報告はないがInとAsの結合はGaとAsの結合よりも不安定であるので少なくとも上記アルシン分圧下で成長を行うことが望ましい。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0013

【補正方法】変更

【補正内容】

【0013】次に本発明の第3の実施例を図7および図8を用いて説明する。図7は歪量子井戸半導体レーザの断面図、図8(a)は成長工程の成長温度プロファイル、図8(b)はアルシン分圧プロファイルである。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0015

【補正方法】変更

【補正内容】

【0015】次に2重歪量子井戸活性層構造10(20nmGaAsバリア層/6nmIn_{0.24}Ga_{0.76}As歪層/5nmGaAsバリア層6nmIn_{0.24}Ga_{0.76}As歪層/20nmGaAsバリア層からなる)を成長温度プロファイルのC即ち610°Cで、アルシン分圧プロファイルのC即ち0.3 Torrで成長する。次に成長温度を610°Cに保ったまま、

膜厚40nmのAl_{0.2}Ga_{0.8}As光ガイド層11、膜厚1.5μmのMgドープAl_{0.4}Ga_{0.6}Asクラッド層12、膜厚1.0μmのMgドープGaAsキャップ層13をそれぞれアルシン分圧プロファイルのD、E、F即ち4 Torr、5.3 Torr、3.2 Torrのもとで順次気相エピタキシャル成長させることにより、図7に示す層構造をもつ歪量子井戸半導体レーザウェハを作ることができる。

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0016

【補正方法】変更

【補正内容】

【0016】第3の実施例の変形例として図9を用いて説明する。レーザの断面構造は図7に示した前述の第3の実施例と同じである。図9は成長温度プロファイルである。前述の第3の実施例において、図9に示すように膜厚40nmのAl_{0.2}Ga_{0.8}As光ガイド層11の成長中に成長温度プロファイルのDに従い温度を700°Cまで上昇させる。つぎに成長温度プロファイルのE即ち700°Cで膜厚1.5μmのMgドープAl_{0.4}Ga_{0.6}Asクラッド層12、膜厚1.0μmのMgドープGaAsキャップ層13を順次気相エピタキシャル成長させるという変更を加えることも可能である。

【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0017

【補正方法】変更

【補正内容】

【0017】次に本発明の効果の比較をするため、従来用いられた方法で試作した歪量子井戸レーザの実施例を、上記本発明の第3の実施例の変形例の説明と、図10を用いて説明する。従来用いられていた方法として上記本発明の第3の実施例の変形例の2重歪量子井戸活性層構造10(20nmGaAsバリア層/6nmIn_{0.24}Ga_{0.76}As歪層/5nmGaAsバリア層/6nmIn_{0.24}Ga_{0.76}As歪層/20nmGaAsバリア層からなる)を、図10に示すアルシン分圧プロファイルC'即ち1.2 Torrで成長するという変更を加えた例を用いた。

【手続補正10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0018

【補正方法】変更

【補正内容】

【0018】次に、本発明の実施例の効果を図11、図12を用いて説明する。図11はGaAs埋め込み利得導波型レーザの断面図、図12はGaAs埋め込み利得導波型レーザの通電試験の結果得られた安定動作歩留ま

りを示す。本発明の第3の実施例、第3の実施例の変形例、および従来例により得られたレーザウェハを共振器長 $300\mu\text{m}$ 、共振器幅 $7\mu\text{m}$ の図11に示す断面構造をもつGaAs埋め込み利得導波型レーザに加工し、発振波長 $0.98\mu\text{m}$ に対し $\lambda/2$ の光路長の厚さの絶縁体薄膜コーティングを共振器両端面に施し、ヒートシンクにマウントすることにより半導体レーザ装置を得る。

【手続補正11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0019

【補正方法】変更

【補正内容】

【0019】次に、このレーザ装置をレーザウェハごとに無作為10個選び、 90°C 、片端面光出力 10mW の通電試験を1000時間行った。図12に、通電開始後800～1000時間の駆動電流の変化率 r が $2 \times 10^{-5} \text{ h}^{-1}$ 以下である歩留まりをレーザウェハごとに示す。図12によると、第3の実施例の歩留まりが90%、第3の実施例の変形例の歩留まりが60%、従来例の歩留まりが40%であった。

【手続補正12】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0020

【補正方法】変更

【補正内容】

【0020】 $580^\circ\text{C} \sim 640^\circ\text{C}$ の間で活性層を成長した後、成長温度を上げずに、活性層以降の成長温度を活性層の成長温度と等しくしたことにより、第3の実施例の歩留まりは、第3の実施例の変形例の歩留まりより優

れている。また、本発明歪量子井戸活性層のアルシン分圧を $1.6 \times 10^{-7} \sim 0.3 \text{ Torr}$ の範囲内としたことにより、第3の実施例の変形例の歩留まりは、従来例の歩留まりより優れている。

【手続補正13】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図9

【補正方法】変更

【補正内容】

- 10 【図9】本発明の第3の実施例の変形例における歪量子井戸半導体レーザウェハの成長温度プロファイルを示した図である。

【手続補正14】

【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図12

【補正方法】変更

【補正内容】

【図12】

